養液栽培技術講習會專刊　第二輯　60～68,1989

培養液的化學性及其管理

王　銀　波*

一、培養液的化學性

在水耕栽培過程中，植物所需之肥料鹽必須溶於水始能配製成培養液供植物吸收利用。因此，究竟要使用何種肥料配製成較適合植物所需的培養液，要考慮培養液的組成濃度及其配法與追肥管理，有時須動用化學分析，故化學的基礎知識，對配製養液之理論與實際具很大助益。因此我們欲配製培養液需考慮下列因素：

1.存在於化合物中之各種離子的相對比例：養液組成份中，對化合物離子之需要並不相同，例如：一分子硝酸鉀可提供一個鉀離子及一個硝酸根離子，而一分子硝酸鈣則可提供一個鈣離子及二個硝酸根離子，故若一養液期望提供充分的硝酸，又要另一方面減少多餘的陽離子，當以使用硝酸鈣為宜。

2.肥料鹽溶解後離子之間的平衡：適當的離子平衡，可促進作物發育正常，提高產量。以過去20多年番茄水耕培養液之研究，其陰陽離子在某一範圍內維持平衡，水耕液以當量計算，陰離子組成為NO_3^-50～70（60）；$H_2PO_4^-$3～10（5），SO_4^{--}25～45（35）；陽離子組成為K^+30～40（35），Ca^{++}35～55（45），Mg^{++}15～30（20），括弧內數字為代表性當量百分率。

3.肥料的溶解度：各種肥料的溶解度不一，由於水耕栽培必需肥料溶於水中始能供作物吸收利用，因此，選用肥料以溶解度高者較佳，例如，欲提供鈣，以硝酸鈣較硫酸鈣佳，雖然硫酸鈣較便宜，但配製時之費時與不溶物之移去，將增加不少之麻煩。

4.肥料的價格：這裡所指肥料價格，係針對單位肥料成份重量下之價格，效果與配製時間相同時價格越低越佳，這樣才能減少成本，增加收益。惟有時考慮營養液配製時之方便性或另一半成份之需要性，並非只考慮一個成份而已。

5.肥料在水溶液中的行為：雖然肥料都能溶解，但培養液中以硫酸亞鐵為鐵源，則鐵易氧化而沈澱，因此其有效性就降低了，栽培時容易引起缺鐵症狀。又如，磷酸鹽的多量使用將使磷酸根與微量元素如鋅、鐵結合成另一種化合物為溶解度較低的磷酸鋅及磷酸鐵而使得培養液中鐵及鋅的有效性降低，容易引起微量元素之缺乏。更實際一點而言，一公升中Ca^{++}與SO_4^{--}分別含一克（0.1%）以上濃度就會有石膏（$CaSO_4$）沈澱。Ca^{++}6g＝，PO_4^{-3}12g以上時就會有磷酸二氫鈣$Ca(H_2PO_4)_2$產生，會有沈澱之可能。硫酸鹽含S之%會支配培養液中S之濃度。如$MgSO_4 \cdot 7H_2O$中含硫（S）13%，要使培養液濃度在0.1%以下時，應稀釋130倍以上。當然我要把培養液中所有含硫酸鹽均全部計算含S（硫）量後，再由含硫量計算稀釋成0.1%以下，可能的話0.05%以下是必要的，山崎氏認為0.03%為標準培養液S（硫）的濃度。

根據上述原因，吾人將常用於水耕栽培的化學肥料的化學特性，列於表一。

一種化合物堤供的營養元素的相對比例，必需與養分配方中需要的數量進行比較，然後選用，例如硝酸鉀和硝酸鈣，在鈣和鉀等莫耳數下，硝酸鈣能提供較多莫耳的硝酸根離子，也就是說

* 國立中興大學土壤系教授

表一 水耕栽培用肥料之化學特性

中文名稱	化學式	被植物吸收之形態	純度	溶解度 20°C克/升	價格 元/公斤
硝酸鉀	KNO_3	K^+，NO_3^-	95	3.5	30
硝酸鈣	$Ca(NO_3)\cdot 4H_2O$	Ca^{2+}，NO_3^-	70	1,270	50
硝酸鈉	$NaNO_3$	Na^+，No_3^-	98		19
尿素	$CO(NH_2)_2$	NH_4^+	98	1,000	12
硝酸銨	NH_4NO_3	NH_4^+，NO_3^-	98	1,877	31
硫酸銨	$(NH_4)_2SO_4$	NH_4^+，SO_4^{-2}	94	754	10
磷酸一銨	$NH_4H_2PO_4$	NH_4^+，$H_2PO_4^-$	98	368	72
氯化銨	NH_4Cl	$NH_4^+Cl^-$		1,630	18
磷酸一鉀	KH_2PO_4	K^+，$H_2PO_4^-$	98	227	64
磷酸一鈉	$NaH_2PO_4\cdot H_2O$	Na^+，$H_2PO_4^-$		857	35
氯化鉀	KCl	K^+，Cl^-	95	343	10
磷酸一鈣	$Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O$	Ca^{++}，$H_2PO_4^-$		18	56
硫酸鉀	K_2SO_4	K^+，SO_4^{2-}	90	111	31
氯化鈣	$CaCl_2\cdot 6H_2O$	Ca^{2+}，Cl^-	75	536	12
硫酸鎂	$MgSO_4\cdot 7H_2O$	Mg^{2+}，SO_4^{2-}	45	356	12
硫酸亞鐵	$FeSO_4\cdot 7H_2O$	Fe^{2+}，SO_4^{2-}		250	16
鉗形鐵	EDTA Fe	Fe^{2+}，EDTA		421	
硼酸	H_3BO_3	H_3BO_3		46	49
硫酸錳	$MnSO_4\cdot 4H_2O$	Mn^{2+}，SO_4^{2-}		500	50
硫酸鋅	$ZnSO_4\cdot 7H_2O$	Zn^{2+}，SO_4^{2-}		366	33
硫酸銅	$CuSO_4\cdot 5H_2O$	Cu^{2+}，SO_4^{2-}		168	39
鉬酸銨	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$	NH_4^+，$Mo_7O_{24}^{-6}$		100	863

有硝酸鉀莫耳數一半的硝酸鈣就能滿足植物對硝酸根離子的需要。

植物生長分營養生長期與生殖生長期等各時期，不同時期對氮素型態之要求不同，雖然銨態氮及硝酸態都能被植物吸收利用。為了促進植物的營養生長或生殖生長，供應植物氮素形態應該是不一樣的。銨態氮一旦被吸收後，將直接用來合成胺基酸或其他還原型態的化合物，因此過剩的吸收態銨態氮時，尤其在日光照度較差的條件下，往往使營養生長過度，植物徒長，影響開花。相反的，硝酸態氮，則在被同化前須先還原，因此供其營養生長所需較為緩慢，當夏季日照長，光合成速率較高時，往往引發植物需氮無法滿足而形成缺氮現象。因此在急需補充氮源時，自應使用銨態氮較合適，除此之外，概以使用硝態氮為原則。

[illegible]硝酸態氮（NO_3^-—N）抑或銨態氮（NH_4^+—N）較易被作物吸收，且對植物生育最有幫助。這[illegible]植物種類，生育過程，培養液之pH，培養液中其他陽離子的存在，對根部之供氧量，光照之強弱，人為的管理等均有影響。一般就蔬菜而言，全數或大部分施用硝酸態氮時，生育情形最好，如全數使用銨態氮時，則呈現銨的障礙而使植物生育大受影響。

既然銨鹽能迅速補充氮源，但卻易造成毒害，硝酸鹽則需先還原才能為植物所利用，那麼如

何調適一適當比例去適合作物生長所需。

根據岩田谷內的試驗，銨態氮和硝酸態氮的比例對蔬菜生長的影響如表二。從表二中可以看出，施用硝酸態氮的效果，較銨態氮為佳，如兩者配合對蔬菜之使用，銨態氮之量不能超過三成，才不致對產量有太大之影響而減產。又根據王銀波等（1988）種植小白菜試驗，亦得相近結果，如表三。

表二　銨態氮和硝酸態氮對蔬菜生長的影響

NO_3^-：NH_4^+	菜豆	菠菜	蕪菁	白菜	蔥頭
10：0	100	100	100	100	100
9：1	109	79	117	115	100
7：3	103	77	111	103	97
5：5	78	83	89	92	92
3：7	63	65	67	48	72
1：9	21	37	42	23	40
0：10	9	14	17	13	13

表三　不同氮源對 pH 的變化與小白菜產量表

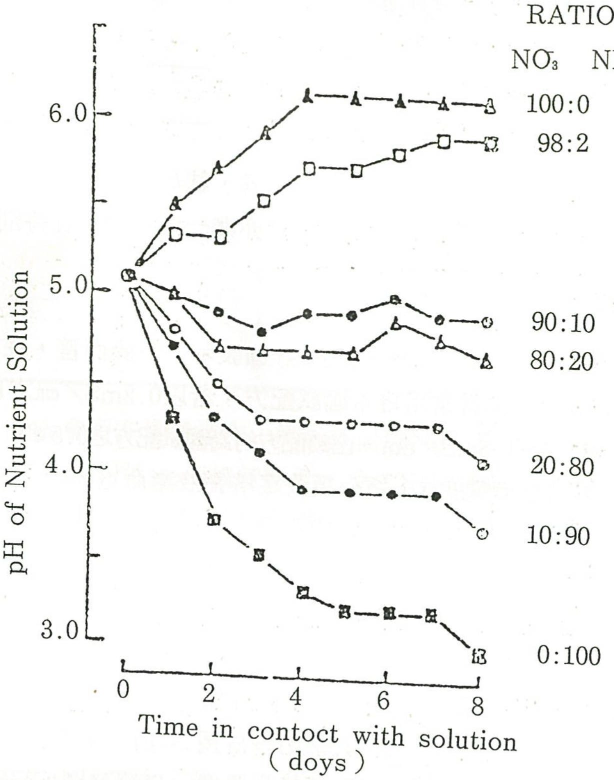
$\frac{NH_4-N}{NO_3-N}$重量比	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{34}$	$\frac{20}{48}$	$\frac{20}{62}$	$\frac{20}{76}$	$\frac{20}{90}$	$\frac{20}{104}$
產量（克/ 盆）	425	720	600	530	320	250	150
養液最終 pH	5.7	5.4	5.9	5.7	6.0	6.4	6.6

另根據Trealease試驗，以不同的氮源適當比例有助於培養液pH的穩定，幫助作物生長。養液中若全部使用NO_3^-則生長期中培養液之pH將慢慢升高，反之全部使用NH_4^+則pH將慢慢降低，故以部份NH_4^+加入培養液中則pH較穩定。Trealease的試驗結果如圖一（Johns 1983）。

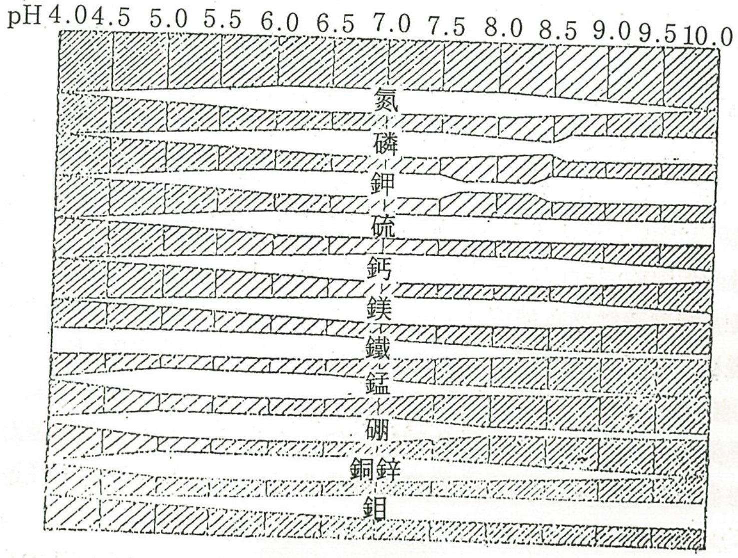
培養液之pH以調節在6～6.5左右為最佳，因為在此範圍的營養元素的溶解度最好，若pH值太高，則培養液中的鐵、錳會沈澱下來，有效性當然下降，若pH值太低，則鈣、鎂的溶解度降低，鐵、錳的溶解度增高，有可能造成鐵、錳的毒害，因此 pH 的調節宜多加小心，圖二是各營養元素在不同pH下的有效性。

二、培養液的管理

養液栽培，因作物的根生長在低緩衝能力的條件之下，與生長在土壤比較易受培養液濃度，pH變化及液溫之影響，故需一種良好組成比率的培養液，不僅可在栽培中確保培養液pH值的穩定，並且植物生長期中濃度之組成也穩定，符合作物需要，對作物嗣後的生育及管理上將方便很多，因此一種良好的培養液配方是水耕栽培成功的要件。為達到此種目的，對於肥料的化學特性及培養液配製技術不可不了解。並且在栽培過程中對培養液的管理應使其符合作物生長所需，培養液的管理可由下述幾方面著手：



圖一 不同氮源對 pH 的影響



圖二 植物養分有效性與培養液 pH 值之關係

1.導電度（EC）之管理
2.穩定pH值
3.溶氧量的控制
4.培養液的配製技術

另有一項在做培養液管理之前，就必需充分了解者，就是我們所種植的作物，因為各種作物對養分的需求並不一樣，所以其培養液的管理方法，亦非一成不變，宜特別加以注意，以免做出錯誤的管理，影響作物的生長，產量與品質。

(一)導電度（EC）之管理

導電度一般以m mhos/ ㎝，mU/ ㎝，或mS/ ㎝表示，一般而言，在稀薄溶液中，含1m.e鹽類之培養液約為0.2mS／㎝。本省常用日本園試配方，若以0.2mS／㎝之自來水配製，1單位者為2.4mS／cm0.5單位約為1.3～1.5mS／cm。山崎配方約為園試配方之0.5單位導電者度為多（黃瓜、洋香瓜、壽菊接近園試一單位之導電度）。這一項決定培養液壽命重要因子之一，若植物因吸收與利用某一離子，而使殘存溶液失去平衡，或導致培養液之滲透壓偏高，縮減了培養液的壽命。為期正確掌握管理，可藉導電度計測定培養液於作物生育各階段過程中之肥料鹽濃度，並妥為處理，做早期之調節控制，防止弊害，提昇生育品質，增加收量。

無論任何種作物，在栽培過程中，因配合作物在生育中的需要，確有調整培養液之必要。對最適用培養液之組成產生影響的主要因素可能有下列五種：

1.植物種類與品種
2.植物各不同生育階段
3.以根莖或葉為收穫目的之植物部分
4.季節—日長
5.氣候—溫度、日照強度、日照長度

因植物種類與品種之變異，對養分之吸收，尤其N、P、K之吸收量，自亦有變異。例如，萵苣等葉菜類，要比番茄或黃瓜等多喜好較高濃度的P、K、Ca量。以蔬菜種類而言，黃瓜、洋香瓜，西瓜、菠菜等為好鈣蔬菜，其他番茄、茄子、甜椒、萵苣則為好鉀蔬菜。因此基於上述植物生理需要，再依植物生育階段對濃度之需求，多配製幾道濃度不同的培養液，以資栽培，初期濃度較低，後期較高。以番茄為例，育苗期EC為1.1～2.5mS/ ㎝，收穫期EC為2.0～3.0mS/ ㎝。換句話說，番茄在幼苗期使用較稀濃度，結果期以後則使用較高濃度，此不同濃度可調節培養液的導電度即可。通常在高日照下植物總要比低日照度者，要多吸收氮量，以供生長所需。又如轉到秋至冬期，若鉀的濃度較高時可彌補日照之不足，其果實品質會顯著提高。由於夏天高溫時多量吸收氮素，氮素與鈣素有拮抗作用，以致番茄雖不是好鈣作物，仍會因需K：Ca為8：6，相當接近而引發缺鈣之番茄尻腐病。因此日本神奈農試設計有N10，P4，K6，Ca10，Mg4，S 4me/ ℓ之含鈣較多之番茄專用培養液推廣應用，以抑制NK之吸收，增加鈣之吸收量，故培養液的管理應隨季節，種植作物而做適當的調節，以丹麥為例如表四，尤其是應該對氮、磷、鉀等各種離子濃度做個別控制，才能夠充分調節作物之生育，並能保証穩定高產及種植成功。

(二)pH值的管理

水耕栽培中，酸鹼度的影響有著非常重大的意義，一般作物大體上適合pH值5.5～6.5左右，在這範圍的pH值，養液中各成份之溶解度相對較大，比較沒有栽培上的困擾。當然也有在這範圍之外較適合的特別作物，例如：茶樹喜歡在pH4左右的酸性環境下生長。

作物的養分吸收中，陰離子和陽離子的吸收如果不相同時，也會造成pH的變化，例如NO_3^-

表四　培養液濃度隨季節別設定值

（EC，mS/ ㎝）

月	蕃　茄	黃　瓜
1，2	3.0～4.0	2.6～3.2
3，4	2.5～3.0	2.4～3.0
5，6	2.0～2.6	2.0～2.6
7，8	1.4～1.6	1.9～2.3
9，10	1.8～2.0	2.1～2.5
11，12	2.0～2.3	2.2～2.6

離子吸收量過多時，K和Ca會留在培養液內，便形成pH偏高的情形。NO_3^-與NH_4^+兩離子共存的場合中，如果NH_4^+被優先吸收的話，pH值就降低，反之NO_3^-被優先吸收時，pH值升高，這些性質都依作物的種類，培養液的濃度，液溫等而改變。因此pH的管理，除了如前述以適當硝酸態氮及銨態氮以維持穩定pH外，別無他法，若以Hcl、H_2SO_4或NaOH來調節培養液pH值則將使培養液惡化，因為高量的Na（約80ppm）及cl（350ppm）存在將使培養液的滲透壓（含1m M/ℓ溶液之滲透壓為0.0224×273＋t℃/ 273）升高，植物生長變差，有時候Na 80ppm時就會引起拮抗作用而成為缺鉀，故此種調節pH方法已較不適用於生長期間pH的調適。

養液栽培過程中，一般而言，pH之高低對作物吸收營養分有很大的影響，pH低於5.5時鈣、鎂、鉬、硫、磷等要素較難由根吸收。若pH高於6.5時，鐵、錳、硼、銅，鋅較難吸收。pH值若超過7以上時將出現缺鐵，因為溶液中會形成$Fe(OH)_3$沈澱，因pH上升一單位，鐵之活性減少一千倍，故為克服此缺失，目前均廣泛使用EDTA-Fe鉗合物以補救之。若pH值超過8時，將會跟著出現缺錳及磷等問題。相反地，若pH值低於4.5以下時，表示缺鈣、鎂、鉀等陽離子，若pH至4.5以下時，卻會使鈣、鎂以及鉀沈澱增加，鉬則吸收受阻礙，欠缺自然無法避免。故培養液pH之穩定，在作物生長期中是很重要的，此不但使養分平衡且保持為最有效形態，以利於植物之生長。

至今，已研究pH值發生變化可能原因有下述幾點：

1.所調配之培養液的組成，濃度，並不適於作物吸收所需，各種作物所需的營養要素並非一致，由於養分的攝取而使得養分成份發生變異，因而改變了培養液pH值。例如栽培了葉菜類因好氮，迅速減少氮濃度，銨態氮減少pH下降。果菜類好磷、鉀，磷鉀失去平衡而引起pH值變化。

2.作為溶媒的用水pH值偏高時，其鈣、鎂量亦將增加，因此，當培養液需低濃度時，若用上這種pH值偏高的用水，不僅影響pH值，且還會使含Ca、Mg量提高，如一般用水EC在0.2 mS/ ㎝，但台灣地下水則高於此值，≦0.5mS/ ㎝者僅30.57%，且多為微鹼性。

3.作物吸收的養分組成具有特性，仍因依各成分，可分為具積極的吸收（如N、P、K）與消極的吸收（如Ca、Mg）。前者於多日照下，高溫下，比後者將會多吸收而致培養液之pH值易偏高。相反的，於低溫，寡日照氣候情況下，NPK之吸收大受影響而CaMg吸收影響少，培養液之pH將易偏低。

4.作物生長期中自根部排出各種未完全氧化之有機酸，或因根部之老化分解，至使有機酸、胺

基酸、尤其與呼吸有密切關係的二氧化碳，溶解於水形成之碳酸，將會使培養液之pH值降低，有時還會抑制作物之生長。

5.培養液用肥料鹽之影響，倘若過量使用銨鹽（如NH_4Cl，（$(NH_4)_2$）SO_4）等，雖因種植作物需銨鹽程度而異，但大多數均會優先吸收NH_4-N，致使多遺留陰離子於培養液中，培養液之pH值將會受銨離子減少之影響，顯著降低。由此可知採用最佳適用組成成份濃度的培養液，不僅可確保pH的穩定，且對作物嗣後的生育管理上，確有好處。

上述幾點pH發生改變的原因，如今都已有了解決的對策方法

1.調適植物所需的培養液配方，或者在植物吸收了某一成份後，分析其被吸收量，再予補充該元素。

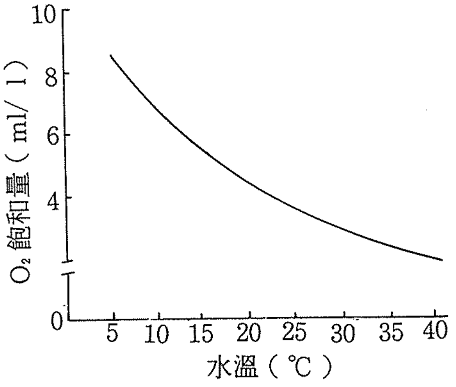
2.對所使用的水質加以分析，然後從配方中扣除溶媒用水中所溶解的鹽類，尤其應注意硝酸態氮與鈣鎂離子，靠近海邊則應注意NaCl量。

3.根部所排出的酸性物質可於養液中放入以尼龍袋包裝之交換性樹脂或清潔木炭吸收排除之。

4.以不同組成比率的銨態氮及硝酸態氮來維持穩定的pH，又KH_2PO_4之使用亦有助於培養液pH的穩定。

㈢溶氧量的管理

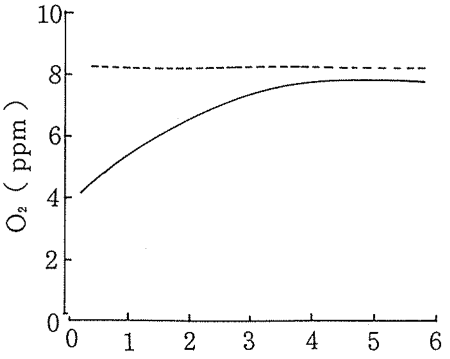
溶氧量與培養液溫度呈反比例，其關係如圖三。液溫一旦上升培養液飽和溶氧量很自然地下降，尤其在30℃以上時更為顯著。因此，在台灣冬季的水耕栽培無溶氧量及溫度高的困擾問題，水耕作物可以長的好，長的美，長得漂亮。但在夏季水耕栽培則有溶氧量不足及溫度偏高的困擾。



圖三　液溫與溶氧飽和量之相互關係

水耕栽培是設施園藝的一部份，設施固然可以達到保溫及防病蟲害的優點，但卻也是夏季水耕栽培最大的致命傷。因為在夏季，溫室白天的氣溫可以達45℃以上，液溫達38℃以上，此時培養液中的溶氧量將在1.5ppm以下。作物在培養液溶氧量5ppm以上時不會有根腐問題，若在2ppm以下根之生理機能似不良，養分吸收減少，尤其P、K、Mn明顯減少，故作物生長不佳是可以理解的。有時培養液中具有夠用的溶氧量，但長期不流動時根附近氧濃度減少而成為不足，如何可以提高培養液的溶氧量是夏季栽培能否成功的關鍵。

事實証明夏季循環式水耕栽培作物，由於充分供給氧氣，是可行的。日本千葉農試以NFT栽培草莓時以8ppm溶氧量培養液供應，則供液量對培養槽（21.5公尺）出口處之溶氧量之影響如圖四，適當的供液量可維持較高之溶氧量。



圖四　供給液量（l/ min）

培養液溶氧量對作物生長之影響，以番茄為例，如表五。由於溶氧量之增多，根長、株高，地上部與地下部乾物重均增加，表示番茄在溶氧量較多之7.9ppm時生長較低溶氧量時為佳。

表五　培養液溶氧量對水耕栽培蕃茄生育之影響

	溶　氧　度（ppm）				
	0.39	1.20	2.05	3.90	7.90
最大根長（cm）	7	18	30	37	49
根乾物重（g）	0.23	0.53	0.70	0.74	0.78
葉乾物重（g）	1.31	2.44	2.68	2.78	3.11
株　　高（cm）	10.9	13.3	13.5	14.6	13.7

㈣原液之配製及保存技術

原液之混合，由於濃度太高，通常會有沈澱物生成。此種沈澱物係由溶解度較少之鹽類開始，尤其是肥料之特性若混合後生成溶解度低的物質，則沈澱更多，例如鈣鹽不宜與硫酸鹽混合，因為所形成的硫酸鈣溶解度極低之故，EDTA-Fe亦只能與鈣混合，若與其他元素混合，則EDTA-Fe本身的棕色會消失，並有沈澱生成。今將水耕養液肥料之配製分A，B液，組成如表六。A液配製時需先溶解EDTA-Fe於微酸性水溶液中，因在酸性中其溶解度較大之故，待完全溶解再投入$Ca(NO_3)_2$及$CaCl_2$，其稀釋倍數以1000倍為可行，溶液呈紅棕色，配製完成之藥品宜於陰涼低溫處保存，不應置於陽光曝曬及高溫的地方，B液亦是。B液配製時以濃鹽酸調節水樣之pH至2，因在酸性時金屬元素之溶解度較大亦較穩定，配製時以$CuSO_2$第一優先投入或先以小部分水溶解之後再混入，若不如此做，將使得硫酸銅結晶很難溶解，另市售硫酸錳其純度都不夠，溶解度亦差，其所謂的保証純度亦常有與記載不符之事實故配製前宜對其純度做一番分析，硫酸鋅亦然。此B原液之稀釋倍數以200倍為最佳，稀釋倍數太高易有沈澱生成，太低則原液體積太龐大，都不宜，由良好充分溶解之培養原液，加入配製培養液貯存桶內配製成使用之養液。配製時先加入貯存桶近需要調成pH6之水量，然後一邊攪拌一邊加入需要之B液量，B液加完後以同樣之方法加入需要之A液量，用攪拌加至預定貯存桶之水量，此時培養液pH僅略為下降，下降幅度不會超過0.1單位。

表六 新修訂的興大肥料研究室養液配方

元素		使用肥料	濃度（ppm）
A 液	Ca，N	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	40，28
	Ca	$CaCl_2 \cdot 2H_2+$	40
	Fe	EDTA-Fe	2
B 液	N	NH_4NO_3	40
	K，P	KH_2PO_4	13，10
	K	K_2SO_4，KCl	65（39，26）
	Mg	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	36
	Mn	$MgSO_4 \cdot 4H_2O$	1
	B	H_3BO_3	0.5
	Zn	$ZnSO_4$	0.02
	Cu	$CuSO_4$	0.05
	Mo	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.005

參考文獻

1.山崎肯哉 1984 培養液の化學性 農耕と園藝編 野菜の養液栽培法 22～26。

2.王銀波 1988 養液栽培之肥料與管理 鳳山熱帶園藝試驗所編養液栽培技術講習會專刊第一輯 59～70。

3.王銀波，楊策群，吳正宗 1988 水耕栽培自動化及夏季蔬菜生產可行性之研究。

4.古在豐樹 1987 養液管理方式の基本的視點 農業および園藝 62(1)：107～110

5.伊東正 1986 西歐諸國における養液栽培の現狀と問題 農耕と園藝編 養液栽培新技術

6.池田英男 1986 pH，EC測定器の使い方と培養液の調整 The水耕栽培 富民協會/ 毎日新聞社 82～88

7.佐佐木浩二 1986 水耕栽培に特徵的な病害，生理障礙とその對策 The水耕栽培 富民協會 / 毎日新聞社 88～93

8.武川滿天 1986 水耕栽培百科 富民協會。

9.陳建初 1983 水質分析 九大出版社。

10.高適正基 1986 野菜工場 丸善株式會社。

11.Cooper,A 1979 The ABC of Nutoient Grower Book, England

12.Hewitt, E.J. 1966 Sand and Water Culture Methood Used in the Stud of Plant Nutrient C.A.B.,U.S.A.

13.Johns,J. B. 1983 A Guide for the Hydroponic Soilless Culture Grower. Timber Press, U.S.A.

14.Resh,H.M. 1985 Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Pablishing Co., U.S.A.